

Über photographische Objektive mit sehr großem Bildwinkel

Naumann, Helmut

Veröffentlicht in:
Abhandlungen der Braunschweigischen
Wissenschaftlichen Gesellschaft Band 2, 1950,
S. 199-204



Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig

Über photographische Objektive mit sehr großem Bildwinkel

Von **H. Naumann** in Braunschweig

Mit 2 Abbildungen

Vorgelegt von Herrn **G. Cario**

Summary: Photographic lenses with extreme wide angle, about 180° or more, are usually subjected to a certain extent of "distortion", this expression meaning in this case faults to the law of central perspective. It is, however, possible to set other laws concerning the construction of pictures, i. e. the relation between the inclination of the light beam coming from the object and its distance from the optical axis in the image plane, this having been done occasionally as far as former systems of this kind were concerned. It is proposed here to base upon the stereographic projection when it is intended to take pictures of the whole sky. Datas are given for the main parts of such a system, their essential aberrations being discussed. Details regarding the connection between the distortion and the decrease of illumination at the margin of the image are added.

Finally, it is proposed to combine the essential properties of such a wide-angle system with a telescope which may be put in front of any photographic lens of usual construction. An example taken with such a system is demonstrated.

Veröffentlichungen in amerikanischen Fachzeitschriften¹⁾, aber auch in der gemeinverständlichen Literatur²⁾ lenkten das allgemeine Interesse auf einige photographische Objektive mit einem Bildwinkel um 180° , die von den Streitkräften der USA aus den Werkstätten von Carl Zeiss, Jena, weggebracht worden waren. Solche Objektive wurden schon um 1925 vorgeschlagen, insbesondere für meteorologische und andere Aufnahmen des Himmelsgewölbes³⁾ ⁴⁾.

Diese Vorschläge bzw. die danach hergestellten Objektive bieten einige interessante Probleme.

Die Bildpunkthöhe y' über der optischen Achse ist bei einer Zentralprojektion, die man üblicherweise als „unverzeichnetes“ Bild ansieht, durch

$$y'_i = f' \operatorname{tg} u \quad (1)$$

gegeben, wobei u der dingseitige Neigungswinkel des Hauptstrahles gegen die Achse ist; verzeichnungsfrei, d.h. also die Gesetze der Zentralperspektive befriedigende Bilder mit $2u = 180^\circ$ Bildwinkel oder mehr sind offensichtlich nicht möglich. Um auf endlichen Bildflächen 180° oder einen noch größeren Bildwinkel, etwa bis 200° , erfassen zu können, muß ein anderer Zusammenhang zwischen der halben Bildausdehnung y' und dem Winkel u gewählt werden, der zwangsläufig zu tonnenförmiger Verzeichnung führt, und man ist bei der Konstruktion solcher Objektive zunächst versucht, die Verzeichnung überhaupt nicht zu beachten bzw. so in Kauf zu nehmen, wie sie anfällt.

Indessen ist es möglich, ihr einen bestimmten Verlauf zu erteilen, indem man ein anderes Bildgesetz an Stelle (1) annimmt. Gleichzeitig kann man den Abfall der Bildhelligkeit nach dem Rande zu, d.h. mit zunehmendem y' , untersuchen. Bekanntlich nimmt die Beleuchtungsstärke auf der Schichtebene bei durchaus gleichförmig angenommener Leuchtdichte des Gegen-

standes und bei einem verzeichnungsfreien Objektiv nach dem Gesetz

$$G_1 = \cos^4 u \quad (1a)$$

ab, und man errechnet leicht für den Lichtstrom $d\Phi$, der innerhalb der Neigungswinkel (u) und $(u + du)$ mit der äußeren Gestalt eines Hohlkegels vom Gegenstand nach dem Objektiv und somit auch vom Objektiv nach dem Bild gelangt,

$$d\Phi = 2\pi C f'^2 \sin u \cos u \, du,$$

wobei die Fläche der wirksamen Blendenöffnung, die Leuchtdichte und die Verluste in dem technisch ausgeführt zu denkenden Objektiv in dem Faktor C zusammengefaßt sind, da sie hier nicht weiter interessieren.

Nimmt man an Stelle des Bildgesetzes (1) eine andere Beziehung an, die endliche Werte y' für $u = 90^\circ$ bietet, beispielsweise

$$y'_2 = f' \sin u, \quad (2)$$

so findet man für das Gesetz des Lichtabfalles nach dem Rande zu

$$G_2 = 1, \quad (2a)$$

d. h., bei einem Bildaufbau nach (2) mit recht erheblicher tonnenförmiger Verzeichnung ist die Bildhelligkeit konstant, ein vom photographischen Standpunkt recht erwünschter Zustand. Es wurde gelegentlich versucht⁵⁾, ihn auf andere Weise herbeizuführen, doch zeigt die energetische Rechnung ganz klar, daß dies ohne Verzeichnung nicht möglich ist. An dieser Stelle interessiert das Gesetz (2) deshalb nicht, weil es für Winkel u über 90° nicht eindeutig bleibt und somit unbrauchbar ist.

Bemerkt sei, daß eine Abbildung gemäß diesem Gesetz durch ein optisches System geleistet wird, das hinsichtlich sphärischer Aberration und Sinusbedingung für ein Punktpaar der Achse korrigiert, also aplanatisch ist, wenn sich in einem dieser Punkte die Blende und damit der Schnittpunkt der Hauptstrahlen mit der Achse befindet. Man kann einen Versuch etwa mit einem lichtstarken Kinoaufnahme- oder Wiedergabeobjektiv machen, in dessen aplanatisch korrigierten Brennpunkt die Blende gebracht wird. Bei der Wiedergabe sehr weit entfernter Gegenstände wird sie diesen zugekehrt; in dem anderen Brennpunkt findet sich dann das nach (2) verzeichnete Bild, dessen Punkte natürlich nicht aplanatisch korrigiert sind.

Das Bildungsgesetz

$$y'_3 = f' \cdot u \quad (3)$$

ist von der Mehrdeutigkeit wie von der Beschränkung auf $u = 90^\circ$ frei. Es ist in dem Zeiss-Objektiv „Pleon“⁶⁾ verwirklicht, das allerdings nur 145° Bildwinkel aufweist. Für den Lichtabfall findet man

$$G_3 = \frac{\sin 2u}{2u}. \quad (3a)$$

Objektive von 180° Bildwinkel werden, wie gesagt, fast ausschließlich zur Photographie des Himmelsgewölbes benutzt, und dann liegt es nahe, für die Bildhöhen bzw. die Verzeichnung ein Gesetz zu wählen, das der stereographischen Projektion entspricht, weil in dieser Manier die meisten Himmelskarten dargestellt sind. Es gilt also für die Bildhöhen

$$y'_4 = 2f' \operatorname{tg} \left(\frac{u}{2} \right), \quad (4)$$

und man erhält für den Lichtabfall

$$G_4 = 2 \cos^6 \left(\frac{u}{2} \right) - \cos^4 \left(\frac{u}{2} \right). \quad (4a)$$

Es ist von Interesse, die Gesetze für den Helligkeitsabfall in einer abgekürzten Reihenentwicklung darzustellen, so daß der Grad der Helligkeitsabnahme deutlich hervorgeht:

Gleichung	y'	$\frac{y'}{uf'}$	G
1	$f' \cdot \operatorname{tg} u$	$1 + \frac{4}{12} u^2 - \dots$	$1 - 2u^2 + \dots$
2	$f' \cdot \sin u$	$1 - \frac{2}{12} u^2 + \dots$	1
3	$f' \cdot u$	1 ± 0	$1 - \frac{8}{12} u^2 + \dots$
4	$f' \cdot 2 \operatorname{tg} \left(\frac{u}{2} \right)$	$1 + \frac{1}{12} u^2 - \dots$	$1 - u^2 + \dots$

Man erkennt, daß das Bildgesetz der stereographischen Projektion hinsichtlich des Helligkeitsabfalles in der Mitte zwischen der Zentralprojektion und dem Sinusgesetz liegt, d. h., daß der Helligkeitsabfall halb so groß ist wie bei einem nach üblichen Begriffen verzeichnungsfreien Objektiv.

Die technische Verwirklichung eines solchen Systems fußt stets auf einem streuenden Meniskus, der seine erhabene Seite — gelegentlich ist es auch die Planseite einer Plankonkavlinse — dem Dingraum zukehrt. Das von dieser Linse entworfene virtuelle Bild wird dann durch ein Sammelsystem reell auf der oben angenommenen Bildfläche, also der photographischen Schicht, abgebildet.

Hierbei kann man verschiedene Wege der methodischen Entwicklung gehen. Die meisten der bisher bekannt gewordenen Systeme basieren offensichtlich auf den Vorschlägen von Hill, sind vielleicht aber auch auf die früher beliebten Türgucker zurückzuführen, die es gestatten, fast den gesamten außen liegenden Halbraum durch ein verhältnismäßig kleines Guckloch von innen her zu überschauen. Zunächst scheint man bei der Entwicklung solcher Objektive Negativglied und Positivteil gemeinsam hinsichtlich der zu behebenden Fehler korrigiert zu haben, wobei in erster Linie die Wölbung und der Astigmatismus, erst in zweiter Linie Koma, sphärische Abweichung und Farbfehler eine Rolle spielten und ganz zuletzt, bzw. erst neuerdings die Berücksichtigung irgendeines Gesetzes für die Verzeichnung. Besser aber behebt man die Verzeichnungsfehler zunächst im Negativglied allein und gibt das virtuelle Bild im Maßstab 1 : 1 durch ein symmetrisches System wieder, das dann keine Verzeichnung einführt außer solcher höherer Ordnung, die durch die verschiedenen Beträge der Bildfeldwölbung bedingt sind, so etwa das Pleon.

In dieser Weise wurde ein System entworfen, das dem Verzeichnungsgesetz (4) innerhalb gewisser Zonenfehler Rechnung trägt und das in Abb. 1 einschließlich einer Kurve, die die Verstöße gegen dieses Gesetz zeigt, im Querschnitt dargestellt ist.

Ist

$$y' = 2f' \operatorname{tg} \left(\frac{u}{2} \right)$$

die Sollhöhe des Bildes und ⁸⁾

$$\bar{y}' = (b'_k - s'_k) \operatorname{tg} u'_k$$

die tatsächliche Höhe des Bildpunktes nach der Abbildung durch die letzte (k -te) Fläche des Systems, wobei b'_k der Abstand des Blendenbildes, s'_k derjenige der Bildebene vom letzten Scheitel ist, und u'_k die Neigung des austretenden Hauptstrahles, so ist der Verzeichnungsfehler gegenüber dem hier angenommenen Bildgesetz, der ebenso wie sonst in Promillen oder Prozenten ausgedrückt werden kann,

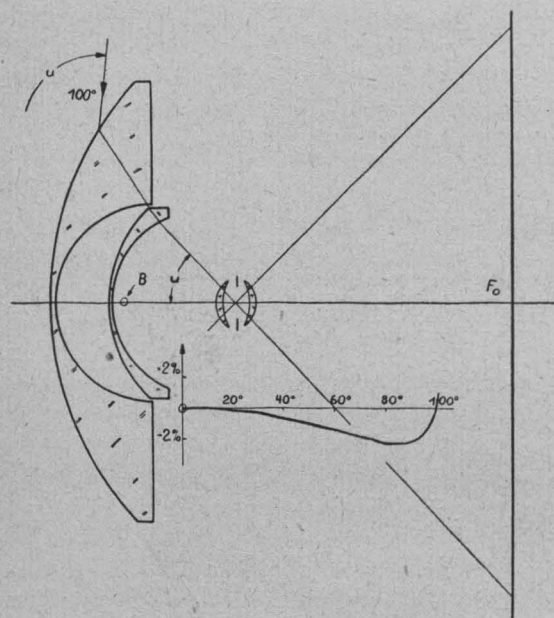


Abb. 1. Querschnitt und Verzeichnungskurve eines Negativ-Systems, dessen Bildgesetz in erster Näherung der Gleichung (4) entspricht. Näheres im Text.

$$V_z = \left(\frac{\bar{y}'}{y'} - 1 \right) 100 \%$$

Die (abgerundeten) Daten eines solchen Systems sind etwa folgende:

$$r_1 + 250$$

$$d_1 = 3; n = 1,523$$

$$r_2 + 75,8$$

$$d_2 = 40$$

$$r_3 + 100$$

$$d_3 = 3; n = 1,523$$

$$r_4 + 69$$

$$f' = -112; \text{Achsen-Schnittweite } s'_0 = -136.$$

Die Wiedergabe des virtuellen Bildes im Maßstab 1:1 müßte also durch ein Sammelsystem erfolgen, dessen dingseitiger Knotenpunkt (im Abstand der doppelten Brennweite von seinem dingseitigen Hauptpunkt) sich 136 mm entgegen dem Licht vom Scheitel der letzten Fläche r_4 befindet.

Die günstigste Brennweite ist dadurch gegeben, daß der Blendenpunkt komafehlerfrei gelegt wird.

Bildet man in bekannter Weise die Werte A, B, C, P, \square als Grundlage für die Seidelschen Summen, so erhält man (abgerundet):

$A = -4,0$; von derselben Größenordnung wie die Flächenkoeffizienten. Eine sphärische Korrektur ist natürlich nicht zu erwarten.

$B = -1,70$; etwa halb so groß wie die Flächenkoeffizienten. Für die Lage der komafreien Blende ergibt sich hieraus: $Z_1 = +0,43$ für $f' = -1$, und abgebildet durch das System hindurch mit $f' = -112$ kommt $Z' = +94$, woraus sich als günstigste Brennweite für das in wahrer Größe abbildende positive System $f'_2 = +115$ mm ergibt.

Weiter kommt $C = -0,38$, etwa $\frac{1}{8}$ des Wertes der Flächenkoeffizienten; der Astigmatismus ist also nicht sehr beträchtlich.

$P = -0,519$ ist nicht anders zu erwarten, wird aber durch ein Sammelsystem mit fast gleicher entgegengesetzter Brennweite gut kompensiert.

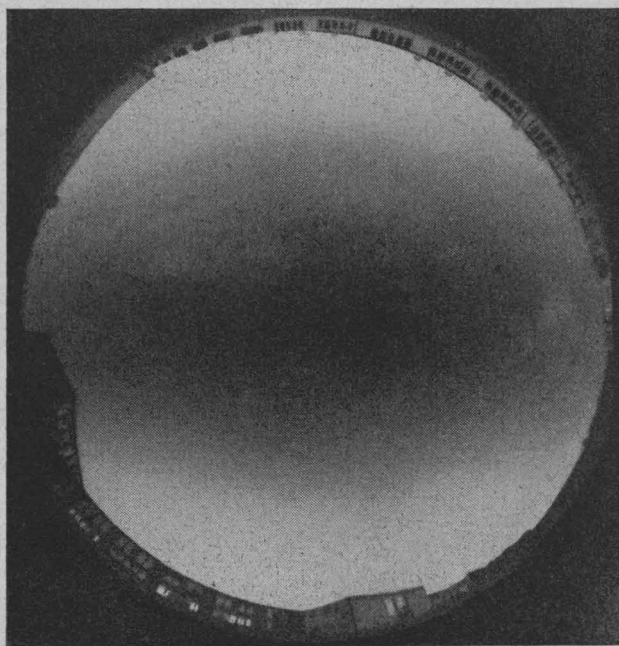


Abb. 2. Aufnahme des Himmelsgewölbes bei Sonnenaufgang mit Polarisator. Aufnahme mit Bildwinkel 200° , mit Vorsatzfernrohr und handelsüblicher Photokamera.

Schließlich entspricht $\square = +0,04$ etwa $\frac{1}{70}$ der Flächenkoeffizienten: Wie zu erwarten, erscheint die Verzeichnung in erster Ordnung behoben. Der Verlauf der Gesetzmäßigkeit bei großen Bildwinkeln u kann im Bereich der Seidelschen Entwicklung nicht mehr erfaßt werden.

Die Berechnung der Seidelschen Summen selbst bietet nichts Bemerkenswertes.

Schließlich ist bei der Entwicklung eines solchen Weitwinkelsystems noch ein dritter Weg möglich, nämlich der, das Negativglied mit einem Teil des reell abbildenden Positivsystems so zu vereinigen, daß das Ganze eine telezentrische Anordnung, also ein Galileisches Fernrohr wird, das „umgekehrt“

benutzt wird, also längs der optischen Achse verkleinert. Es macht dann keine Schwierigkeiten, das System so zu bemessen, daß einem dingeitigen Winkel $u = 100^\circ$ ein bildseitiger Austrittswinkel u' von etwa 20° entspricht, so daß das Fernrohr als Vorsatzsystem vor ein normales photographisches Objektiv gebracht werden und ein Bildwinkel von 200° auf dem Format einer handelsüblichen Kamera erfaßt werden kann. Hierbei steht es offen, welches Bildgesetz man anwenden will.

Es besteht dabei die Möglichkeit, zwischen Fernrohr und Kameraobjektiv Filter anzubringen, was bei einheitlich bzw. untrennbar konstruierten Systemen technische Schwierigkeiten bereitet.

So entstand mit einem als Laboratoriumsmuster bei Voigtländer & Sohn, Braunschweig, hergestellten, höheren Korrekktionsanforderungen nicht genügenden derartigen Fernrohr zusammen mit einer normalen 6×6 cm-Kamera die Abb. 2, bei deren Aufnahme die optische Achse senkrecht auf dem Erdboden stand und zwischen Fernrohr und Objektiv ein Polarisationsfilter eingefügt wurde. Das bei Sonnenaufgang hergestellte Bild zeigt den Polarisationszustand des Himmelsgewölbes. Leichte Schleierwolken, mit dem bloßen Auge kaum sichtbar, treten deutlich hervor.

Zusammenfassung

Photographische Objektive mit extrem großem Bildwinkel, der 180° erreicht oder übertrifft, sind grundsätzlich mit Verzeichnung behaftet, wenn man hierbei „Verzeichnung“ als Verstöße gegen die Gesetze der Zentralperspektive ansieht. Es ist möglich, für den Bildaufbau, d.h. für den Zusammenhang zwischen dingeitigem Neigungswinkel des Hauptstrahls und zugehöriger Höhe des Durchstoßpunktes über der optischen Achse andere Gesetze anzunehmen, was bei bisher ausgeführten Systemen dieser Art gelegentlich geschehen ist. Hier wird vorgeschlagen, die stereographische Projektion zugrunde zu legen, wenn Aufnahmen des gesamten Himmelsgewölbes geplant sind. Es werden näherungsweise Konstruktionsangaben für die wichtigsten Teile eines solchen Systems gegeben und deren wesentliche Abbildungsfehler diskutiert. Angaben über den Zusammenhang zwischen der Verzeichnung und dem Randabfall der Helligkeit werden hinzugefügt.

Schließlich wird vorgeschlagen, die wesentlichen Eigenschaften eines solchen optischen Systems einem Fernrohr zuzuordnen, das vor ein photographisches Objektiv üblicher normaler Bauart gesetzt werden kann. Ein Beispielbild mit einem solchen System wird gezeigt.

Literatur

- ¹⁾ Gardener u. Washer, Journ. Opt. Soc. Am. **38**, 421; Mai 1948.
- ²⁾ z.B. Feininger, „Modern Photography“, Sept. 1949, S. 28; „US Camera“, September 1948.
- ³⁾ Hill, Proc. Opt. Conv. 1926, S. 878.
- ⁴⁾ Schulz, Zeitschr. techn. Physik **13**, 487, 1932; deutsche Reichspatente d. Kl. 42h, Gruppe 4, 20.
- ⁵⁾ Schulz u. Tiller, Zeitschr. f. wiss. Phot. 1948, Heft 11/12.
- ⁶⁾ Pleon: DRP. 722519.
- ⁷⁾ z.B. Merté, Band 1 des Handbuches für wissensch. und angew. Photographie, Hay und v. Rohr, S. 191, Wien 1932.